

## **АНАЛИЗ ПУСКОВЫХ РЕЖИМОВ КРУПНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ**

Вертикальные синхронные двигатели в основном используются для приводов насосных агрегатов в оросительных насосных станциях, а также применяются для привода осевых насосов без задвижки на напорном трубопроводе. Обычно момент сопротивления насосного агрегата в начале пуска невелик и составляет 1 - 5 % номинального момента. Момент сопротивления насосного агрегата при трогании зависит пропорционально от массы ротора двигателя и насоса, а также радиуса сегментов подпятника. Приблизительно массу ротора насоса можно принять как 0,25 - 0,4 массы ротора двигателя, а момент сопротивления при пуске, когда  $s = 1$  не превышает 15 - 20% номинального момента.

Для трогания при скольжении равном  $s = 1$  вращающий момент двигателя должен быть не менее  $0,3 M_n$  с учетом возможных снижений напряжения в электрической сети. Другой особенностью данных агрегатов является то, что по мере разворота агрегата по квадратичной зависимости от частоты вращения растёт момент сопротивления насоса. В конце пуска момент сопротивления зависит от длительности прохождения пуска и длины трубопровода. Обычно при синхронизации двигателя момент сопротивления насоса равен 80 – 100 % номинального. Надежным условием для синхронизации является то, что момент двигателя должен быть не менее  $1,3 M_n$  при скольжении  $s = 0,05$ . Форсировка возбуждения при синхронизации осуществляется посредством системы автоматического управления синхронными двигателями. У синхронных двигателей такого типа пусковой ток обычно составляет 4 - 6 кратное значение номинального.

Пусковой ток у крупных синхронных двигателей вызывает динамические усилия в обмотках статора, который может привести к ослаблению крепления лобовых частей обмотки статора, а также в роторе большие пусковые токи могут вызвать недопустимые местные нагревы [6]. В мощных вертикальных синхронных машинах, имеющих большую активную длину при пуске образуется неравномерный нагрев стержней, который вызывает термодинамические усилия и далее к разрушению пусковой обмотки двигателя. С целью устранения данной проблемы крупных синхронных двигателей пускают от пониженного напряжения сети, при этом пусковой ток тоже снижается до 3 - 3,5-кратного значения. Однако в этом случае увеличивается время пуска, так как у насосных агрегатов при большой длине трубопроводов момент сопротивления зависит от длительности пуска. При длительном пуске могут ухудшиться условия синхронизации и увеличиться нагрев пусковой обмотки, поэтому в конкретном случае пуск крупных синхронных двигателей выполняется по-разному. Например, при пуске мощных синхронных двигателей, которые работают от недостаточно мощной сети, может возникнуть значительное снижение напряжения на выводах двигателя. Асинхронный момент при этом уменьшается пропорционально

квадрату напряжения на выводах [6]. Напряжение на выводах двигателя при пуске может быть определено из схемы замещения, которая приведена на рисунке 1.

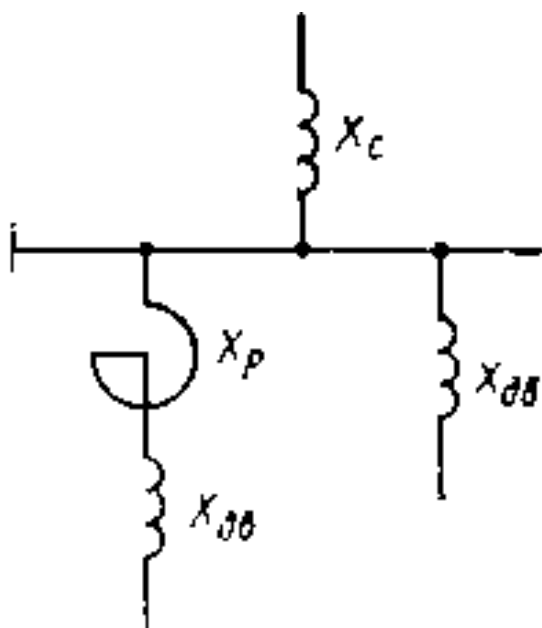


Рис. 1. Схема замещения для расчета падения напряжения при пуске синхронного двигателя

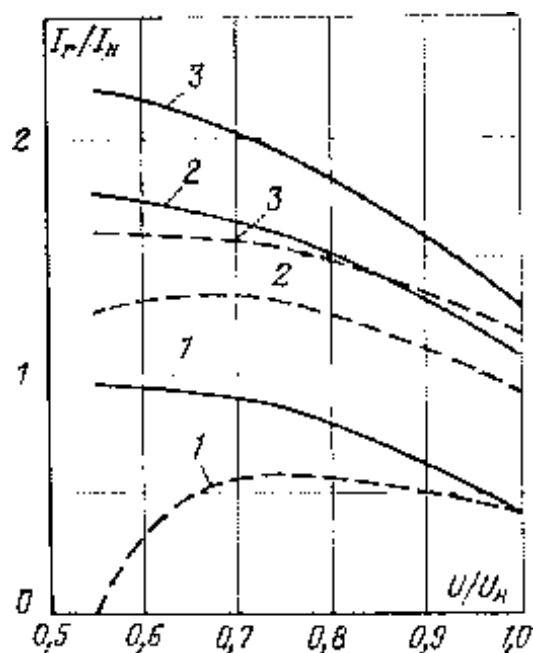


Рис. 2. Изменение реактивного тока синхронного двигателя при изменении напряжения и постоянной активной нагрузке

На рисунке 2 приведены кривые изменения реактивного тока синхронной машины при неизменном токе возбуждения и при форсировке [6]. Сплошная кривая 1 означает  $I_p = I_{p.ном}$ , кривая 2 при  $I_p = 1,4I_{p.ном}$  и кривая 3 при  $I_p = 1,6I_{p.ном}$ . Пунктирные линии описывают отношение короткого замыкания двигателя в пределах 1 - 1,5.

Для определения возможности повторных пусков основным фактором является нагрев при пуске обмотки статора и пусковой обмотки. При пуске к механическим центробежным силам добавляются термодинамические силы, вызванные нагревом обмотки, поэтому важно знать температуру обмоток двигателя при пуске.

В качестве примера рассмотрим режимы работы насосных агрегатов оросительной насосной станции АНС-1 Республики Таджикистан. В данной станции установлены четыре вертикальных синхронных двигателя серии ВДС2-325/ 69-16 с мощностью 8000 кВт. Пуск синхронных двигателей насосов производится при отключенном тиристорном возбудителе, а обмотка ротора при этом замкнута на разрядное сопротивление, значение которой в 6 - 10 раз превышает сопротивление обмотки возбуждения.

Для моделирования пуска синхронного двигателя используем компьютерную программу MATLAB, библиотеку Simulink/SimPowerSystems [2, 7]. На рисунке 3 приведена модель для исследования синхронного двигателя при прямом пуске. Данная модель является базовой для исследования крупных синхронных двигателей.

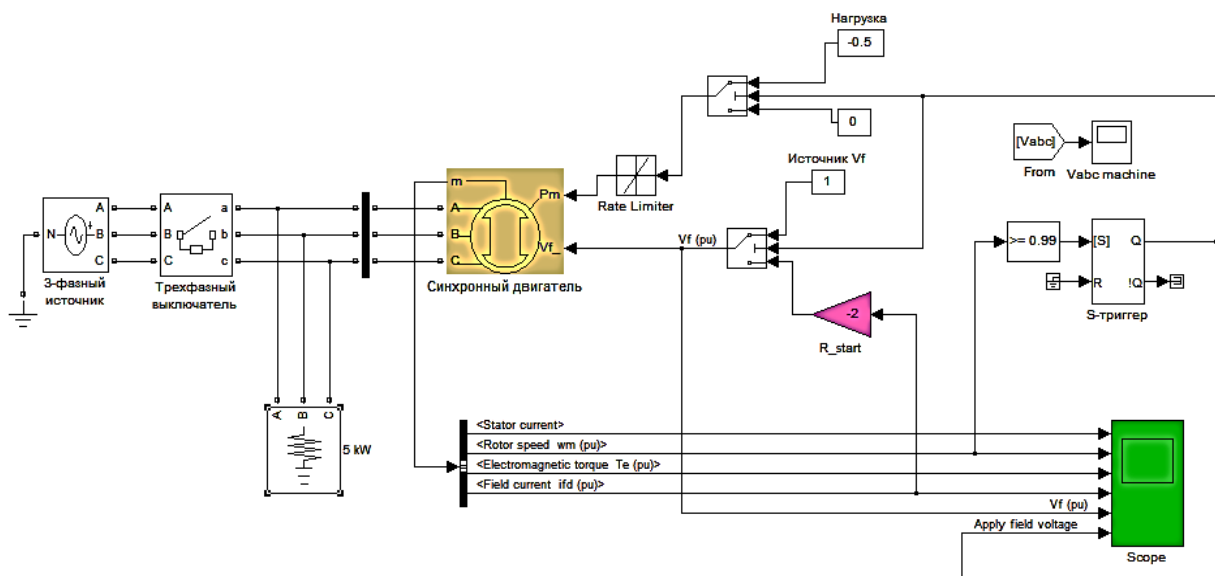


Рис. 3. Модель пуска синхронного двигателя

Графики на рисунке 4 демонстрируют, что пусковой режим мощных синхронных двигателей проходит скачкообразными колебаниями токов и моментов двигателя, а именно 5 - 6 раз увеличивается ток статора, в 3 - 4 раз увеличивается электромагнитный момент двигателя. Эти процессы естественно негативно влияют на технический ресурс двигателя.

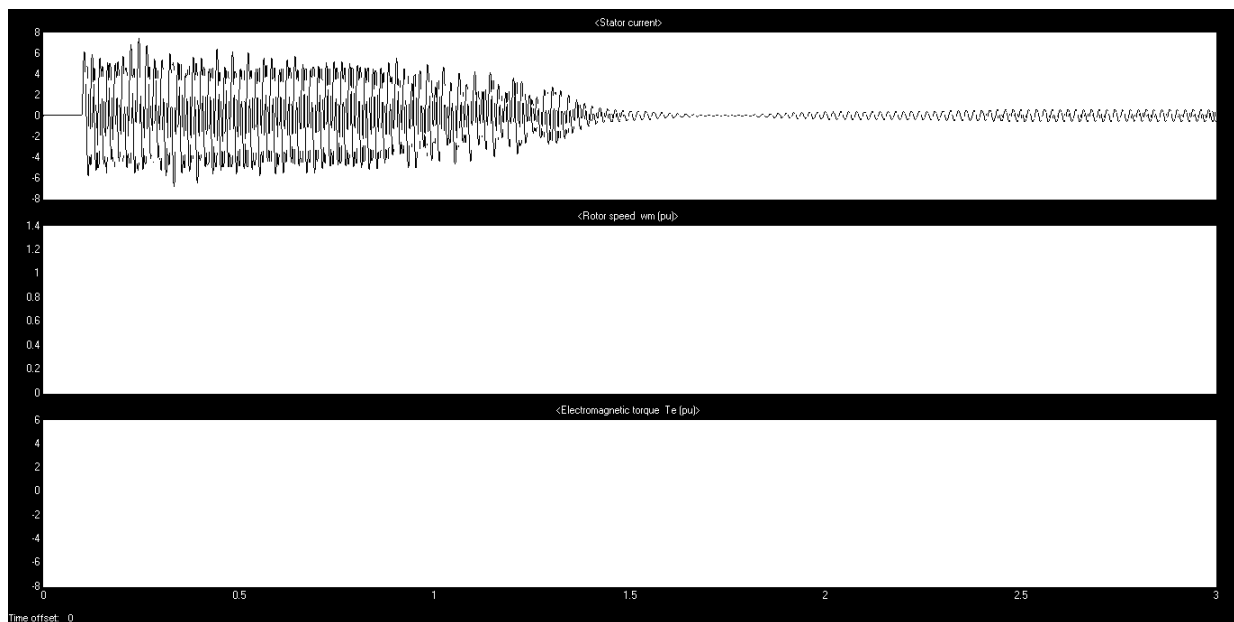


Рис. 4. Переходные процессы синхронного двигателя при пуске

В связи развитием силовой электроники для решения вышеуказанных проблем применяют различные энергосберегающие технологии и устройства на базе полупроводниковых приборов. К таким устройствам можно отнести: устройства плавного пуска, регуляторы напряжения, преобразователи частоты и т. п. [3]. Как показывает

опыт некоторых предприятий, применение данных устройств приводит к плавному пуску мощных синхронных двигателей, устраняет ударные свойства пусковых токов на обмотках двигателей, снижает механические и гидравлические удары, а также приводит к 15 - 25% экономии электроэнергии за счет регулирования мощности двигателя [1, 4, 5].

#### Список использованных источников

1. Браславский И. Я., Ишматов З. Ш., Поляков В. Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод / под ред. И.Я. Браславского. - М.: АCADEMA, 2004. - 202 с., ил.
2. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6,0: учебное пособие - СПб.: КОРОНА принт, 2001. - 320 с.
3. Дадабаев Ш. Т. Обзор и оценка способов управления насосными установками // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2013 № 12. 28 - 30 с.
4. Лезнев Б. С. Экономия электроэнергии в насосных установках. М.: Энергоатомиздат, 1991. - 144 с., ил.
5. Лезнев Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздушных установках. - М.: Энергоатомиздат, 2006. - 360 с., ил.
6. Нейман З. Б. Крупные вертикальные электродвигатели переменного тока. - М.: Энергия, 1974.
7. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MatLab, SimPowerSystems и Simulink. - М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. - 288 с., ил.